AUS DER PROTHETISCHEN ABTEILUNG
(VORSTAND PROF. DR. WANNENMACHER) DES ZAHNÄRZTLICHEN INSTITUTS
DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN (VORSTAND: PROF. DR. H. PECKERT)

DIE DREHACHSE BEI EINWURZLIGEN ZÄHNEN UND DEREN ÄNDERUNG BEI VERSCHIEDENEN BELASTUNGSRICHTUNGEN

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

ZAHNHEILKUNDE

EINER

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER

EBERHARD-KARLS-UNIVERSITÄT ZU TÜBINGEN

VORGELEGT VON

WILHELM FICKEL
APPROB. ZAHNARZT AUS ULM A. D.

VERLAGSBUCHHANDLUNG JULIUS SPRINGER IN BERLIN. 1930

Dekan: Prof. Dr. Oertel.
Referent: Dr. Wannenmacher.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus „Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde", 1930, 17.

In der Orthodontie ist die Frage nach der Bewegungsform der bewegten Zähne eine vielfach erörterte, da man mit Recht annimmt, daß in gewissem Maße die Umbauvorgänge im Knochen von der Bewegungsform abhängig sind. Im ganzen Fragenkomplex spielt die Lage der Drehachse eine wesentliche Rolle.

Das zunächst nur sehr theoretisch aussehende Interesse in dieser Frage gewinnt sofort an praktischer Bedeutung, wenn man folgendes berücksichtigt: Jede Bewegung eines Zahnes wird durch das Periodontium auf den Alveolarknochen übertragen, der sich auf Grund dieses Reizes verändert. Es gehen also in der Umgebung des Zahnes große Umbauprozesse vor sich. Ist nun der Ort der Drehachse des Zahnes bekannt, dann läßt sich auf Grund der Hebelgesetze errechnen, wo diese Vorgänge am stärksten sind.

Mit der Feststellung des Drehpunkts haben sich verschiedene Autoren befaßt, und da ihre Ausführungen die Grundlagen für vorliegende Arbeit bilden, so sollen die Ergebnisse dieser Untersuchungen kurz angeführt werden.

Nach *Salomon* ist der Zahn ein Hebel, und alle Kräfte, die an ihm wirken, sind nach den Hebelgesetzen zu errechnen. Durch den *Case*schen Pflockversuch wollte man über die Bewegungen eines Zahns Aufschluß bekommen. Ein Pflock wurde langsam bis zur Mitte in einen weichen Lehmboden eingetrieben (Abb. 1) und dann hin und her bewegt; der Pflock arbeitet dann als ein zweiarmiger Hebel; als Ort der Drehachse wurde das Verhältnis 1 : 2 (von unten) angegeben. Bestehen die Feststellungen zu Recht, dann müssen die Druck- bzw. die Zugzonen im Alveolarfortsatz diagonal zur Drehachse angelegt sein, d. h. oberhalb der Achse müßte z. B. die Druckzone links, die Zugzone rechts festzustellen sein, während die Verhältnisse unterhalb der Achse gerade umgekehrt sein müßten.

Falk hat nun, wie Abb. 2 zeigt, den Alveolarfortsatz als Einspannstelle aufgefaßt. In diesem Falle würde der Drehpunkt am Alveolarrand und die größte Exkursion an der Wurzelspitze liegen.

Diese Theorie greift *Schwarz* an, indem er *Falk* entgegnet, daß die Drehachse nur dann am Alveolarrand liegen kann, wenn nur das Ligamentum circulare den Zahn festhalten würde. *Falk* hat also das gesamte andere Periodontium vernächlässigt.

Nachdem die Theorie *Falks* durch die *Schwarz*sche Begründung hinfällig ist, bestehen nur noch zwei Möglichkeiten:

1. Der Zahn ist ein einarmiger Hebel und kippt um die Wurzelspitze.
2. Der Zahn ist als ein zweiarmiger Hebel aufzufassen.

Die Versuchsanordnung von *Schwarz* ist folgende: Ein Zahn aus Holz wird, wie Abb. 3 zeigt, in eine aus einem Brett ausgesparte Alveole gesteckt und mit Gummizügen daran befestigt. Die Verankerung an der Wurzelspitze wird aber (wie in Abb. 3 ersichtlich) vernachlässigt, „um", wie *Schwarz* sagt, „die Ergebnisse des Experiments nicht einseitig zu beeinflussen", er merkt jedoch nicht, daß gerade dies durch seine Versuchsanordnung geschieht. Mit Hilfe dieser Anordnung stellt nun *Schwarz* fest, daß bei jeder waagrecht wirkenden Kraft der Zahn zuerst am Alveolarrand anstößt und die Alveole von der Wurzelspitze überhaupt nicht berührt wird. Dies ist aber nur dann möglich, wenn die Drehachse unterhalb der Mitte liegt, da dann der Weg des apicalen Hebelarms kleiner ist als der des oberen. Diese Feststellung kontrolliert *Schwarz* an histologischen Präparaten, die experimentell gewonnen sind, und stellt auch hier fest, daß die größte Druckzone an der Wurzelspitze und die kleinere am Alveolarfortsatzrand ist.

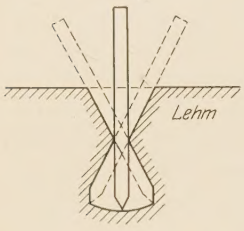


Abb. 1.

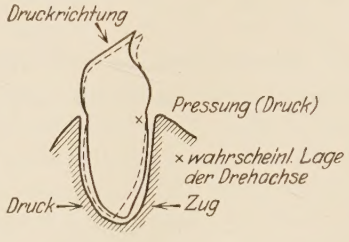


Abb. 2.

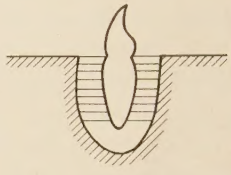


Abb. 3.

Diese Ausführungen von *Schwarz* greift *Bauer* an. *Bauer* wirft *Schwarz* vor, daß sein Versuch zu einfach sei und spricht ihm jegliche Ähnlichkeit mit den Vorgängen im Munde deshalb ab, weil die apicalen Fasern vollständig vernachlässigt werden. Nach *Bauer* muß die erste Frage lauten: Bleiben bei der Kippung überhaupt Punkte in Ruhe, und wenn ja, wo liegen diese? Für den von *Bauer* angenommenen „Pfahl" wird die Drehachse oberhalb der Mitte errechnet. Wird die Pfahlform angenommen, so müssen wir nach den neuesten Untersuchungen von *Grubrich*, die in einer späteren Arbeit niedergelegt werden, zu der wahrscheinlichen Ansicht kommen, daß bei der Bewegung selbst überhaupt kein Punkt in Ruhe bleibt, die Drehachse also als Momentachse aufzufassen ist.

Grünberg und *Oppenheim* haben in ihren neuesten Untersuchungen festgestellt, daß die Abbauvorgänge bei einer Bewegung des Zahnes nur an der Druckseite sich vorfinden und daß auf Zug lediglich eine Verstärkung durch regere Osteoblastentätigkeit eintritt. Während nun bei diesen nach einer Woche untersuchten Fällen die Periodontalbreite bei Zug größer war als bei Druck, ist dieser Unterschied nach 14 Tagen beinahe verschwunden, auch findet man nur noch wenig Osteoclasten an der Druckseite, sonst überall Osteoblasten. Nach 3 Wochen ist der Periodontalunterschied ausgeglichen und es sind nur noch Osteoblasten zu finden. Nach 4 Wochen zeigte sich dasselbe Bild.

Wie aus vorhergehenden zu ersehen ist, stehen sich nun zwei Ansichten, die durch Rechnung belegt sind, gegenüber. *Schwarz* behauptet, die Drehachse liege apical von der Mitte der klinischen Wurzel (wenn man darunter die in der Alveole steckende Wurzel versteht). *Bauer* dagegen nimmt die Drehachse marginal der Mitte an. Der besseren Verständlichkeit halber seien nun die beiden gegensätzlichen Abbildungen abgebildet.

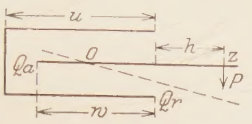


Abb. 4.

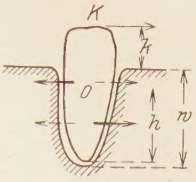


Abb. 5.

Schwarz (Abb. 4) nimmt den Stab *Qu Z* an und berechnet die Drehachse nach diesem. Er gibt in seinen Ausführungen nur das Endergebnis an, so daß auf seine Rechnung nicht weiter eingegangen werden kann. *Bauer* dagegen nimmt einen zahnwurzelähnlichen „Pfahl" an (vgl. Abb. 5). Hierbei muß ein sinnentstellender Fehler berichtigt werden: Die (ausgezogenen) Pfeile, die die Kraftwirkungen innerhalb der Alveole angeben, sind falsch eingezeichnet und müssen in der entgegengesetzten Richtung zeigen (wie ich sie gestrichelt (— —) eingezeichnet habe). Sollten diese Pfeile aber die Gegenkräfte des Mediums (bei ihm Alveole) darstellen, so müßte dies betont werden, statt dessen schreibt *Bauer:* „Es greife nun an der oberen Fläche der Krone *K* an; diese Kraft bewirkt eine Drehung des Zahnes um die Achse *O* (die zur Zeichnungsebene senkrecht steht) und es entstehen nur ober- und unterhalb Kräfte, die im Sinne der gezeichneten Pfeile nach links und rechts zeigen."

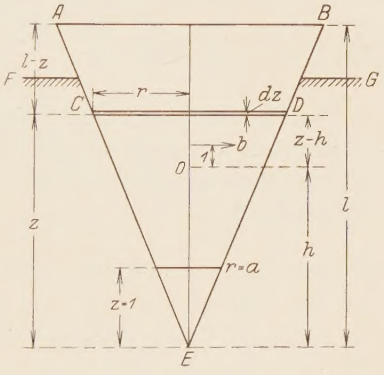


Abb. 6.

Sind aber die Gegenkräfte der Alveole gemeint, dann müßten sie ihren Ausgang von dieser nehmen. *Bauer* führt seine Drehpunktsberechnung an, aber sie ist durch das Fehlen jeglicher Konstruktionsabbildung (denn Abb. 5 ist für diese Zwecke unbrauchbar) schwer zu verstehen.

Deshalb sei nun zuerst die Berechnung *Bauers* für einen Kegel in verständlicher Ausführung angeführt. In Abb. 6, die einen Längsschnitt durch die Kegelachse darstellt, sei

AB = die Kronenfläche des Kegels;
FG = das obere Ende des Alveolarfortsatzes;
K = die Krone des Zahnes (der Abstand AB von FG);
l = die ganze Länge des Zahnes (Abstand E von AB);
h = der Abstand der Drehachse O von E;
w = die Länge der klinischen Wurzel (Abstand E von FG);
z = der Abstand der Linie CD von E.

Läßt man an einem Kegel (ABE), der sich in einer weichen Masse befindet, in der Richtung AB eine Kraft wirken, dann leistet die Masse der Bewegung

Widerstand. Es entstehen dadurch oberhalb des Drehpunkts nach links gerichtete *Gegenkräfte* (der Masse), unterhalb dagegen rechts gerichtete. Die Größe dieser Kräfte ist abhängig von dem Mantel des Kegels und dem Abstand vom Drehpunkt.

Nach den Grundregeln der Integralrechnung berechnet man zunächst die Kraft P für einen kleinen Teil der Mantelfläche. Zu diesem Zwecke schneiden wir im Abstand z eine Scheibe CD von unendlich kleiner Dicke dz aus dem Kegel heraus. Die Mantelfläche F unserer Scheibe ist nun:

$$f = 2r\pi dz\,.$$

Der Halbmesser dieser Scheibe wächst proportional mit dem Abstand z von der Spitze E des Kegels.

Im Abstand $z = 1$ sei

$$r = a$$

es verhält sich nun

$$r : a = z : 1$$

oder

$$r = az\,,$$

Infolgedessen erhält man für

$$f = 2\pi az dz\,.$$

An dieser kleinen Fläche wirkt eine Kraft. Die Größe einer Kraft wächst proportional der Entfernung des Kraftangriffspunkts von der Drehachse. Ist also nun b die Kraft im Abstand 1, dann wird sie im Abstand $(z - h)$ von der Drehachse: $b\,(z - h)$. Auf der Mantelfläche f wirkt nun die Kraft $b\,(z - h)$, infolgedessen wird die Kraft P

$$P = 2\pi abz(z - h)dz\,.$$

Zur Bestimmung des Gleichgewichts benötigen wir das Drehmoment von P. Beziehen wir dieses auf eine zur Drehachse parallele Gerade, die in der Fläche AB liegt und von CD den Abstand $(l - z)$ hat, so erhalten wir für die Größe dieses Drehmoments:

$$m = 2\pi abz(z - h)(l - z)dz\,.$$

Gleichgewicht ist nur dann vorhanden, wenn die Summe aller Drehmomente $= 0$ ist. Also:

$$\sum m = 2\pi ab\int_{z=0}^{z=w} z(z - h)(l - z)dz$$

oder

$$\int_{z=0}^{z=w} (z^2 - hz)(l - z)dz = 0\,.$$

Bei der Integration wird $z = w$, also:

$$\frac{w^3}{3}(l + h) - \frac{w^4}{4} - \frac{hlw^2}{2} = 0\,;$$

$$4w^3(l + h) - 3w^4 - 6hlw^2 = 0\,;$$

$$4wl + h(4w - 6l) - 3w^2 = 0\,;$$

$$h = \frac{3w^2 - 4wl}{4w - 6l} = \frac{w(3w - 4l)}{4w - 6l}\,;$$

$$h = \frac{w\left(3 - \dfrac{4l}{w}\right)}{4 - \dfrac{6l}{w}}\,.$$

Indem von mir später angeführten Beispiel ist $l = 7{,}3$ und $w = 3{,}4$. Setzen wir nun diese Größen in die eben erhaltene Formel ein, so erhalten wir für:

$$h = \frac{3{,}4\left(3 - \frac{4 \cdot 7{,}3}{3{,}4}\right)}{4 - \frac{6 \cdot 7{,}3}{3{,}4}} = \frac{3{,}4\left(3 - \frac{29{,}2}{3{,}4}\right)}{4 - \frac{43{,}8}{3{,}4}} = \frac{3{,}4(3 - 8{,}6)}{4 - 13} = \frac{-3{,}4 \cdot 5{,}6}{-9}$$

$$h = 2{,}12\,.$$

Folglich ist für das angenommene Beispiel die Drehachse oberhalb der Mitte.

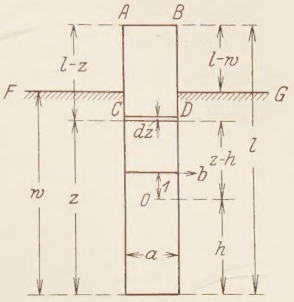


Abb. 7.

Für das *Schwarz*sche Ergebnis wird in folgendem der Gang der Rechnung für ein Prisma angegeben (Abb. 7).

Für die Berechnung für das Prisma wählen wir den gleichen Weg wie vorher. Auch die Bezeichnungen sind dieselben geblieben.

Die Mantelfläche der unendlich kleinen Scheibe ändert sich beim Prisma von $z = 0$ bis $z = w$ nicht. Die Berechnung wird dadurch wesentlich einfacher. Setzen wir den Mantelumfang $= a$, dann ist die Mantelfläche:

$$f = a\,dz$$

und ferner:

$$P = a\,b\,(z - h)\,dz$$

und das Drehmoment:

$$m = a\,b\,(z - h)\,(l - z)\,dz\,,$$

also Summe aller Drehmomente $= 0$.

$$\sum m = a\,b \int_{z=0}^{z=w} (z - h)\,(l - z)\,dz = 0\,;$$

$$\int_{z=0}^{z=w} (z\,l - z^2 - h\,l + h\,z)\,dz = 0\,;$$

$$\int_{z=0}^{z=w} [z\,(l - h) - z^2 - h\,l]\,dz = 0\,;$$

$$\frac{w^2}{2}(l - h) - \frac{w^3}{3} - h\,l\,w = 0\,;$$

$$3\,w\,(l + h) - 2\,w^2 - 6\,h\,l = 0\,:$$

$$h = \frac{3\,w\,l - 2\,w^2}{6\,l - 3\,w} = \frac{w^2\left(3\frac{l}{w} - 2\right)}{w\left(\frac{6\,l}{w} - 3\right)}\,;$$

$$h = w\,\frac{\left(\frac{3\,l}{w} - 2\right)}{\frac{6\,l}{w} - 3}\,.$$

Setzt man hier ebenfalls die Größen $l = 7{,}3$ und $w = 3{,}4$ für das gewählte Beispiel an, so erhält man:

$$h = 3{,}4\,\frac{\left(\frac{3\cdot 7{,}3}{3{,}4} - 2\right)}{\frac{6\cdot 7{,}3}{3{,}4} - 3} = \frac{3{,}4\left(\frac{21{,}9}{3{,}4} - 2\right)}{12{,}9 - 3} = \frac{3{,}4\,(6{,}45 - 2)}{9{,}9} = \frac{3{,}4\cdot 4{,}45}{9{,}9} = \mathbf{1{,}53}\,.$$

Also ist die Drehachse für das gewählte Beispiel beim Prisma unterhalb der Mitte.

Vergleich zwischen der von Schwarz angegebenen Formel und der soeben erhaltenen. *Schwarz* setzt seine Krone $= h$ (Abb. 4), unsere Krone ist $= l - w$ (Abb. 7).

Die Formel von *Schwarz* lautet:

$$Os = \frac{w}{3}\,\frac{1 + \frac{3\,h}{w}}{1 + \frac{2\,h}{w}} = \frac{w + 3\,h}{3 + 6\,\frac{h}{w}}\,.$$

Wir müssen deshalb in unserer Formel:

$$O_w = \frac{3\,l - 2\,w}{\frac{6\,l}{w} - 3}$$

$l = w + h$ setzen:

$$O = \frac{3\,l - 2\,w}{6\,\frac{l}{w} - 3} = \frac{3\,w + 3\,h - 2\,w}{6 + \frac{6\,h}{w} - 3} = \frac{w + 3\,h}{3 + \frac{6\,h}{w}}\,.$$

Diese Formel ist der von *Schwarz* identisch. *Bauer* nimmt nach seinem Text die Zahnform als einen Pfahl an und will diesen seiner Berechnung zugrunde legen, in Wirklichkeit berechnet er aber die Drehachse für einen Kegel. Deshalb sei in folgendem die Rechnung für ein *Paraboloid* angeführt, das der Zahnform näher kommen dürfte als ein Kegel. Beim Paraboloid verändert sich der Halbmesser r nach der Gleichung

$$r^2 = 2\,pz\,,$$

also:

$$r = \sqrt{2\,pz}\,.$$

Der Gang der Rechnung ist derselbe wie beim Kegel.

$$P = 2\,\pi\sqrt{2\,pz}\,z\,dz = 2\,\pi\sqrt{2\,p}\,z\sqrt{z}\,dz\,.$$

Kraft im Abstand $b\,(z - h)$

$$P = 2\,\pi\sqrt{2\,p}\,bz(z - h)\sqrt{z}\,dz\,;$$

$$m = 2\,\pi\sqrt{2\,p}\,bz(z - h)(l - z)\sqrt{z}\,dz\,.$$

Gleichgewicht, wenn Summe der Drehmomente $= 0$, also:

$$\sum m = 2\,\pi\sqrt{2\,p}\,b\int_{z=0}^{z=w} z(z - h)\,(l - z)\sqrt{z}\,dz = 0\,;$$

$$\int_{z=0}^{z=w} (z^2 - hz)\,(l\sqrt{z} - z\sqrt{z})\,dz = 0\,;$$

$$\int_{z=0}^{z=w} [z^2\sqrt{z}(l+h) - z^3\sqrt{z} - hlz^2\sqrt{z}]\,dz = 0\,;$$

$$\int_{z=0}^{z=w} [(l+h)\,z^{2,5} - z^{3,5} - hlz^{1,5}]\,dz = 0\,;$$

$$\frac{(l+h)\,w^{3,5}}{3,5} - \frac{z^{4,5}}{4,5} - \frac{hlw^{2,5}}{2,5} = 0\,;$$

$$45\,(l+h)\sqrt{w^7} - 35\sqrt{w^3} - 63hl\sqrt{w^3} = 0\,;$$

$$45lw + 45hw - 35\,w^2 - 63\,h = 0\,;$$

$$h = \frac{35\,w^2 - 45lw}{45\,w - 63\,l}\,.$$

Für das Beispiel $b = 7{,}3$ und $w = 3{,}4$ erhält man für

$$h = \frac{406{,}6 - 1119}{63 - 460} = \frac{713}{307} = 2{,}3\,.$$

Der Drehpunkt liegt also in diesem Beispiel oberhalb der Mitte der klinischen Wurzel.

Kurze Zusammenfassung der Berechnungen:

1. Beispiel *Bauer*scher Pfahl: Drehachse oberhalb (marginal) der Mitte an klinischer Wurzel.

2. Beispiel *Schwarz*sches Prisma: Drehachse apical der Mitte = der klinischen Wurzel.

3. Beispiel: Paraboloid: Drehachse oberhalb (marginal) der Mitte der klinischen Wurzel.

Für sämtliche nun folgende Versuchsanordnungen sei, um Mißverständnisse zu vermeiden, von vornherein betont, daß die erhaltenen Messungen nicht ohne weiteres auf Zähne und Alveole übertragen werden, sondern nur an Hand der erhaltenen Ergebnisse Rückschlüsse auf die natürlichen Vorgänge gezogen werden.

Für die Versuche wurde ein Vierkantnagel so zugefeilt, daß er überall die Dicke von 5 mm hatte. Die Länge l ist 7,3 cm (Abb. 8).

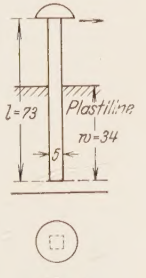


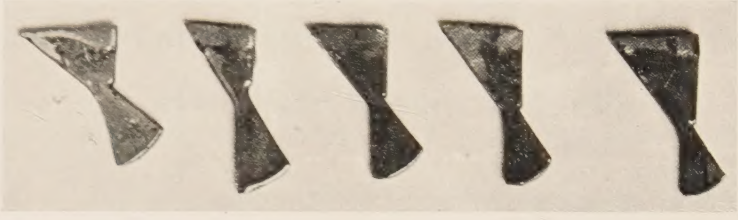
Abb. 8.

Als Untersuchungsmasse wurde zuerst Gips verwendet; da dieser aber seine Konsistenz dauernd ändert, so war er für Versuche, die unter gleichen Bedingungen ausgeführt werden sollten, ungeeignet. Aus diesem Grunde wurde Plastiline gewählt. Wir drückten sie in einen 5 cm hohen Gipsblock, der in der Mitte ein cylinderförmiges Loch mit 4,2 cm Durchmesser hatte. Der Stab wurde bei jedem Versuch 3,4 cm in Plastiline eingedrückt. Nachdem die richtige Stellung des Stabes festgestellt worden war, wurde mit einem Blumendraht am Kopf des Nagels in der Richtung des in Abb. 8 angebrachten Pfeiles gezogen. Nach Beendigung der Bewegung wurde der Stab in der Richtung seiner Achse aus der Plastiline entfernt und die so entstandene Drehfigur mit Woodschem Metall

ausgegossen. Nach Abkühlung des Metalls und der Plastiline mit Wasser konnte die Drehabbildung herausgenommen werden. So erhielt man Figuren, wie sie auf Abb. 10 mit I und II bezeichnet sind. Die weiteren Versuche wurden so ausgeführt, daß mit schneller und langsamer Bewegung abgewechselt wurde, um so zu sehen, ob die von *Schwarz* angegebene Geschwindigkeit der Kraft auch bei meinen Versuchen von Bedeutung sei. Wie oben berichtet, leitet *Schwarz* die „Bodily Movement" des Zahns von einer langsamen, aber stetig wirkenden Kraft ab.

Abb. 9.

Um zu der Drehachsenbestimmung zu gelangen, wurde folgendes ausgeführt: Abb. 9 sei der Ausguß einer Drehbewegung. *AB* sei die obere Fläche des Metalls, die in derselben Ebene liegt wie die Oberfläche des Plastilinemodells, da nun praktisch die wirkliche Drehachse nicht so leicht zu bestimmen war, wurde ur die Strecke *FD* als Stab aufgefaßt und der Abstand *CD* durch Messung festgestellt. Das Resultat der 6 weiteren Versuche ist in Abb. 10 Nr. III—VIII und Tab. 1 Nr. III—VIII zusammengestellt.


I II III IV V

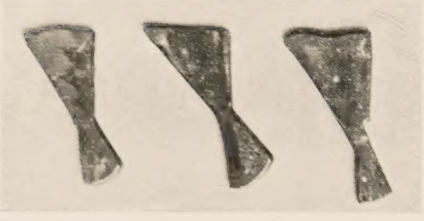

VI VII VIII

Abb. 10.

Tabelle 1.

Nr.	Drehpunkt	Art der Bewegung
III	1,65	schnell
IV	1,52	langsam
V	1,4	schnell
VI	1,3	langsam
VII	1,7	schnell
VIII	1,5	langsam

I*L* I*R* II*L* II*R* III*L* III*R* IV*L* IV*R*

Abb. 11.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, liegt die Drehachse bei schneller Bewegung etwas weiter der Mitte zu als bei langsamer. Ob mit dem Plastilineversuch bei noch langsamerer Krafteinwirkung evtl. doch noch eine „bodily-movement" auftreten würde, sei dahingestellt. Zählt man die laut Tab. 1 gewonnenen Werte zusammen, so erhält man den Durchschnitt 1,51. *Dieser Wert weicht von dem auf S. 14 für die angenommene Versuchsanordnung errechneten Wert kaum ab. Auch die von Schwarz aufgestellte Behauptung: Die Drehachse sei für ein Prisma unterhalb der Mitte, steht mit diesen Versuchen im Einklang.*

Tabelle 2.

Nr.	Links		Rechts		Bemerkungen
	a	b	a	b	
I	4,5	–	4,5		Belastung in *B*
II	3,6	1,95	4,8	2,4	„ „ *C*
III	3,5	1,9	4,9	2,55	„ „ *C*
IV	3,4	1,75	4,6	2,3	„ „ *C*

Für die folgenden Versuche wurden 2 gleiche Vierkantnägel (Stäbe *L* und *R*) durch ein Lochеisen von 8 cm Länge, das in *A*, *B* und *C* durchbohrt war, derart versteift, daß die Stäbe *L* und *R* parallel zueinander waren. Der Gipsblock erhielt 2 Löcher, die mit Plastiline gefüllt wurden.

Als erster Versuch dieser Reihe wurde nun „die Brücke" in *B* senkrecht von oben belastet, und wie erwartet werden mußte, trat nur eine Verlängerung der beiden Stäbe *L* und *R* ein (s. Abb. 11 und Tab. 2, Nr. 1). Hierauf folgten drei Versuche, bei denen der senkrechte Druck in *C* wirkte. Nach Abkühlung des Metalls ergaben sich die in Abb. 11 und Tab. 2 unter II—IV wiedergegebenen Drehfiguren. Nachdem die Tiefe *A* der Stäbe (Tab. 2) nach der Bewegung festgestellt war, wurde die Achse bestimmt (*b*).

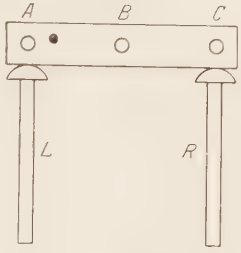


Abb. 12.

Abb. 13.

Tabelle 3.

Nr.	Links		Rechts		Bemerkungen
	a	b	a	b	
I	3,8	1,5	3,9	1,5	waagrechter Druck in *B*
II	4,0	1,5	4,1	1,5	„ „ „ *B*
III	4,2	1,5	4,2	1,5	„ „ „ *B*
IV	3,9	2,0	3,95	1,85	„ „ „ *C*
V	4,3	1,8	3,9	1,5	„ „ „ *C*
VI	4,1	1,8	4,2	1,2	„ „ „ *C*
VII	4,55	1,6	4,3	1,15	„ „ „ *C*

Vergleicht man nun in der Abb. 11 und in der Tab. 2 die Ergebnisse II—IV miteinander, so fällt auf, daß die Figuren des Stabes *R* länger sind als die von *L*, also daß *R* bedeutend tiefer gedrückt wird, während dies bei *L* kaum der Fall ist. Bei einer Brücke würde hier wohl als verstärkendes Moment das Aufsitzen von Zahn *R* an der Alveolenspitze hinzukommen, so daß durch das so erhaltene Widerlager das freie Ende des Hebels (Zahn *L*) besonders stark nach oben gehoben würde.

Abb. 14.

Bei den weiteren 3 Versuchen (Abb. 13 und Tab. 3, I—III) wirkte in *B* ein waagrechter Druck senkrecht zur Linie *AC* (Abb. 12) ein. So erhielt man, wie zu erwarten war, gleiche Größen der Drehachsen für links und rechts. Wurde nun der Druck von *B* nach *C* verlegt, so ergaben sich die in Abb. 13 und Tab. 3 unter IV—VII angeführten Bilder und Werte. Man ersieht hieraus, daß bei dem unbelasteten Stab die Drehachse bedeutend höher liegt als bei *R*. Es wären also bei diesen transversalen Bewegungen die belasteten Zähne größter Gefahr ausgesetzt, da diese durch ihre niedere apicale Drehachse am Alveolarrand weitere Exkursionen machen würden als die nichtbelasteten mit ihren höher gelegenen Drehachsen.

Weiter wurde ein dritter Stab parallel zu den beiden anderen an einem Winkeleisen rechtwinklig starr befestigt (Abb. 15). Auch der Gipsblock wurde mit 3 Löchern versehen und diese wieder mit Plastiline gefüllt. Die Bezeichnung ist aus beigegebener Abb. 15 klar ersichtlich.

Tabelle 4.

Nr.	Links		Mitte		Rechts			Bemerkungen
	a	b	a	b	a	b		
I	3,6	1,7	4,3	1,8	3,6	1,7	—	⊥ Druck in M
II	3,7	1,6	4,5	1,75	3,45	1,65	—	⊥ „ „ M
III	3,8	1,8	4,4	2,2	3,6	1,7	—	⊥ „ „ M
IV	3,7	1,8	4,55	2,1	4,5	2,2	—	⊥ „ „ $\frac{M+R}{2}$
V	3,5	1,7	4,4	2,1	4,4	1,95	—	⊥ „ „ $\frac{M+R}{2}$
VI	3,8	1,9	4,4	2,2	4,4	2,1	—	⊥ „ „ $\frac{M+R}{2}$
VII	3,6	2,3	3,2	1,9	4,6	2,6	—	⊥ „ „ R
VIII	3,5	1,8	3,5	1,7	4,9	2,25	—	⊥ „ „ R
IX	3,5	1,7	3,7	1,8	4,9	2,2	—	senkrechter Druck in R
X	3,8	2,3	4,0	1,5	3,7	0,7	1,9	waagrechter Zug in R
XI	3,5	2,5	4,0	1,5	3,6	0,7	0,7	„ „ „ R
XII	3,7	2,7	4,1	1,5	3,9	0,7	0,8	„ „ „ R

Zuerst wirkte in M senkrecht nach unten eine Kraft, mit dem Ergebnis (Abb. 14 und Tab. 4, Nr. I—III), daß sich die Drehachsen bei Stab L und R gleichmäßig nach oben verschoben, während die Achse von Stab M noch mehr zur Mitte geschoben wurde, wobei zugleich eine wesentliche Verlängerung der Drehfigur M eintrat. Es wäre also für

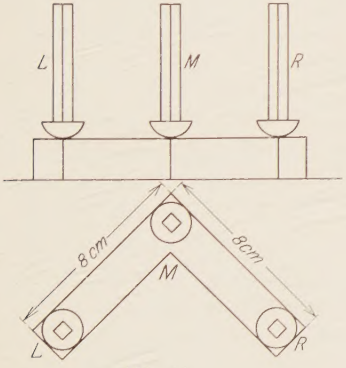


Abb. 15.

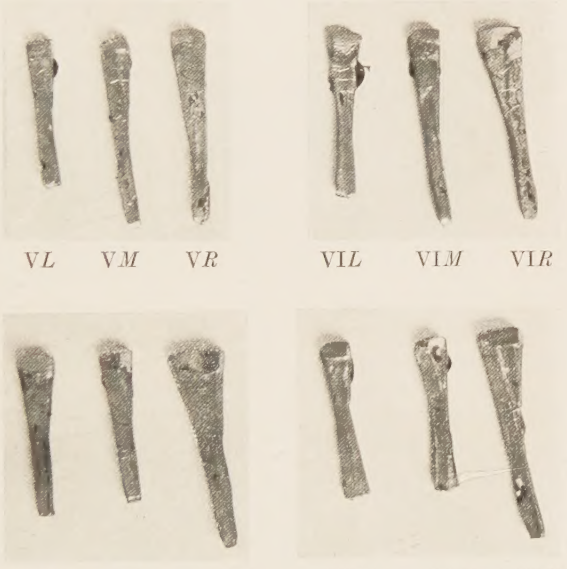


Abb. 16.

eine Brücke dieser Art M der günstigste Belastungsort. Läßt man nun den senkrechten Druck in $\frac{M+R}{2}$ wirken (Abb. 14, Nr. II, Abb. 16 Nr. V—VI, Tab. 4, IV—VI), dann bleiben die Verhältnisse in M und R einander ziemlich gleich, es dürften dabei die gleichen Verhältnisse herrschen wie in Abb. 13 und Tab. 3,

Nr. I—III, wobei jedoch die Drehachse im Verhältnis zu Stab *L* weiter nach oben gewandert ist und *L* nur wenig verlängert wurde.

Bei senkrechtem Druck in *R* (Tab. 4, Abb. 16 und 17, Nr. VII—IX) ist die Drehfigur in *R* sehr verlängert und die Drehachse am höchsten gelegen. Bei Stab *M* liegt er tiefer, um bei weiter entferntem Stab wieder etwas höher angeordnet zu sein. Es würde also bei Belastung einer Brücke in *R* dessen horizontale Exkursion weniger groß sein als die der unbelasteten Zähne. Hier würde das auf S. 1146 für Abb. 11 und Tab. 2, II—IV verstärkende Moment durch Aufsitzen vom Zahn *R* auf dem Widerlager der Alveolenspitze sich auf *M* und besonders auf *L* beziehen, so daß diese beiden Zähne dann besonders gefährdet wären.

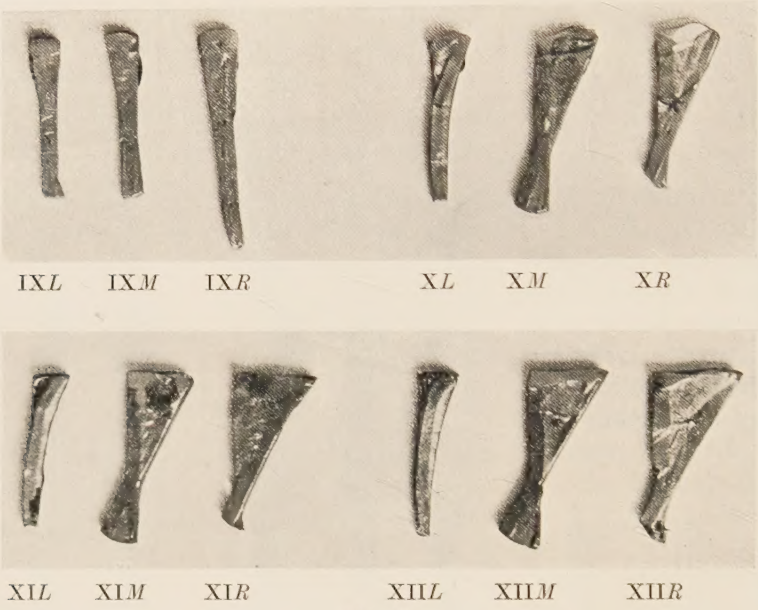


Abb. 17.

Um nun auch bei dem „dritten Stabversuch" auch die transversalen Kräfte zur Wirkung kommen zu lassen, wurden noch 3 Versuche mit waagrechtem Zug in *R* ausgeführt (Abb. 17 und Tab. 4, *M*, X—XII). Hierbei fand sich bei der Drehfigur 2 eine ausgesprochen tiefliegende Drehachse. Die von *M* entsprach der Norm, dagegen war sie bei *L* überaus weit nach oben gerückt. Dies würde bei *M* einer normalen horizontalen Exkursion entsprechen, in *R* einer überaus großen und bei *L* einer kleineren. Da auffiel, daß Stab *L* ziemlich weit aus der Plastiline herausgezogen wurde, wurde die Stabtiefe *L* nach der Bewegung gemessen und unter *C* in Tab. 4 angegeben. Dies kann in Abb. 17 Nr. X*L* und XI*L* sehr gut beobachtet werden. An diesen 3 letzten Versuchen sieht man, daß bei einer 3-Pfeilerbrücke der Zahn, an dem die horizontale Kraft einwirkt, durch die großen horizontalen Exkursionen sehr gefährdet wäre. Für den vom Kraftangriffspunkt am weitesten entfernt liegenden Zahn jedoch ist die Gefahr am größten, er würde nach Abb. 17, Nr. X—XII einer langsamen Extraktion anheimfallen.

Wenn auch nun diese Versuchsergebnisse auf eine festsitzende Brücke nicht ohne weiteres übertragen werden können, so werden doch zum mindesten die Verhältnisse der Bewegungen ähnliche sein. Aus den Drehachsenfiguren sieht man, daß die horizontale Exkursion am Alveolarrand am größten ist; es wären dann in diesem Falle die Randpartien stärkeren Beanspruchungen ausgesetzt. Wenn man sich gleichzeitig daran erinnert, daß auf Röntgenbildern oft stark abgebaute Ränder und Interdentalsepten (die keinen Kompaktrand mehr haben), zu sehen sind, dann kann man sich schon vorstellen, daß diese durch einen solchen dauernden Reiz entstanden sein könnten.

Ferner sind es besonders die transversalen Schubkräfte, die, wie Abb. 13 und Tab. 3, IV—VII an der zweiten Pfeilerbrücke zeigen, auf den Zahn, der am Kraftangriffspunkt liegt, am meisten einwirken würden, da seine dadurch entstandene tiefe Drehachse große horizontale Exkursionen an dem Alveolarrand bedingt, so daß der Zahn langsam gelockert würde. Die Abb. 17, Nr. X—XII zeigen, welche verheerenden Wirkungen rein transversale Schubkräfte bei einer dritten Pfeilerbrücke haben könnten. Die Verhältnisse in *M* und *R* wären dieselben wie bei dem 2-Pfeilersystem, während der am weitesten vom Ort der Krafteinwirkung entfernte Zahn aus seiner Alveole herausgehoben würde, was einer langsamen Extraktion des Zahnes gleichkäme.

Es wurden für die Versuche bei den „Brückenkombinationen" die ungünstigsten Belastungsverhältnisse gewählt, um die Wirkungen möglichst klar zu demonstrieren. So war es möglich, experimentell darzustellen, was zum Teil klinisch schon als Erfahrungstatsache gelten kann, daß die rein horizontal gerichteten, ebenso die transversalen (mit leichter Vertikalneigung) Schubkräfte für die Pfeiler festsitzender Brücken am gefährlichsten sind. Auch hierdurch wird die Forderung erhärtet, durch Konstruktion der festsitzenden Brücken und Formgebung des Kauflächenreliefs (Articulation!) die horizontalen Schubkräfte ungefährlicher zu gestalten bzw. diesen keine oder nur beschränkte Angriffsmöglichkeiten zu bieten.

Am Schlusse meiner Arbeit möchte ich nicht versäumen, Herrn Professor Dr. *Wannenmacher* für die liebenswürdige Unterstützung bei der Ausarbeitung meinen innigsten Dank abzustatten.

Literaturverzeichnis.

Angle, Knochenwachstum. Österr.-ung. Wschr. f. Zahnheilk. **1911**, 201. — *Bauer*, Appositions- und Resorptionsvorgänge am Knochen. Dtsch. Z. f. Stomat. **1925**, 188. — Über das Wandern der Zähne. Vjschr. Zahnheilk. **1928**, H. 3. — *Oppenheim*, Die Veränderung der Gewebe, insbesondere des Knochens bei der Verschiebung. Österr.-ung. Wschr. f. Zahnheilk. **1911**, H. 4, 302. — *Salomon*, Die Lehre von den elementaren orthodontischen Bewegungen. Dtsch. Zahnheilk. in Vorträgen H. 20. — *Schwarz, Martin*, Mathematische Überprüfung des Verhaltens belasteter Zähne. Österr.-ung. Wschr. f. Zahnheilk. **1928**, 398 — Über die Bewegung belasteter Zähne. Z. Stomat. **1928**, H. 1. — *Sicher, Harry*, Physiologische Beweglichkeit der Zähne. Z. Stomat. **1928**, H. 4.

Lebenslauf.

Ich, *Johann Friedrich Wilhelm Fickel*, wurde als Sohn des techn. Reichsbahninspektors Friedrich Fickel und dessen Ehefrau Babette geb. Krug in Reutlingen, am 16. Oktober 1905 in Ulm a. D. geboren.

Nach Versetzung meines Vaters nach Reutlingen besuchte ich zuerst die Elementar- und dann die Oberrealschule. Nach Ablegung der Reifeprüfung im Frühjahr 1925 ließ ich mich an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen immatrikulieren mit der Absicht, Zahnheilkunde zu studieren. Mit Genehmigung des Ministeriums für die Höheren Schulen legte ich am 7. März 1927 die Ergänzungsprüfung in Latein beim Staatl. Gymnasium in Hechingen ab, bestand am 3. August 1927 die zahnärztliche Vorprüfung und am 25. April 1929 das zahnärztliche Staatsexamen.

Nun gedenke ich zum Dr. med. dent. zu promovieren.

Printed in Germany